

PUB-NO: DE003710842A1

DOCUMENT-IDENTIFIER: DE 3710842 A1

TITLE: Electromagnetic brake arrangement, in
particular for
ergometers

PUBN-DATE: October 20, 1988

INVENTOR-INFORMATION:

NAME

FEY, RAINER

COUNTRY

DE

ASSIGNEE-INFORMATION:

NAME

FICHTEL & SACHS AG

COUNTRY

DE

APPL-NO: DE03710842

APPL-DATE: April 1, 1987

PRIORITY-DATA: DE03710842A (April 1, 1987) , DE03535157A (October
2, 1985)

INT-CL (IPC): H02P015/00, A61B005/22 , A63B023/00

EUR-CL (EPC): A63B021/005 ; H02K049/02, H02P015/00

US-CL-CURRENT: 482/6, 482/900 , 482/903

ABSTRACT:

CHG DATE=19990617 STATUS=O> The electromagnetic **brake** arrangement
comprises
a field (excitation) winding (5) which is fed from a generator
winding (7) and
on the one hand excites the generator winding (7) and on the other
hand induces
a **braking** torque in a **short circuit** winding (9) which is moved with
the
generator winding (7). The excitation current of the excitation coil
(5) is

controlled by a transistor (13) of a current control circuit which holds the excitation current, and thus the braking torque, to a value which can be set at a reference voltage source (19). The iron (ferromagnetic) circuit of the excitation coil (5) has remanent magnetic properties which ensure initial self-excitation. The components of the control circuit, in particular, are supplied with operating voltage from the generator winding (7) via a rectifier circuit (11). A resistor (47), which is directly connected to the rectifier circuit (11), turns on the transistor (13) even if the operating voltage is not yet sufficient for the proper operation of the control circuit. As a result, the brake arrangement is ready to operate even when the magnetomotive force (mmf) is relatively slight. <IMAGE>

Patentansprüche

1. Elektromagnetische Bremsanordnung, insbesondere für ein Ergometer, mit einem Stator (1) und einem relativ zum Stator (1) bewegbaren Rotor (3), deren Eisenkreise einen mehrpoligen magnetischen Durchflutungskreis bilden, mit einer Generatorwicklung (7) und einer Kurzschlußwicklung (9) auf einem ersten der beiden Eisenkreise, mit einer aus der Generatorwicklung (7) gespeisten Erregerwicklung (5) auf einem zweiten der beiden Eisenkreise, wobei der zweite Eisenkreis remanenzmagnetische Eigenschaften hat und magnetische Wechselfelder in den Polen des ersten Eisenkreises induziert und mit einer Regelschaltung (13-21) zur Regelung des der Erregerwicklung (5) aus der Generatorwicklung (7) zugeführten Stroms nach P 36 31 672.5, dadurch gekennzeichnet, daß die Regelschaltung (13-21) einen mit seiner Laststrecke in Serie zur Erregerwicklung (5) geschalteten Transistor (13) sowie einen Verstärker (17) aufweist, an den der Transistor (13) mit seinem Steueranschluß angeschlossen ist und dessen Betriebsspannungsanschlüsse mit der Generatorwicklung (7) verbunden sind und daß der Steueranschluß des Transistors (13) über eine Koppelschaltung (47) ebenfalls mit der Generatorwicklung (7) verbunden ist, wobei die Koppelschaltung (47) so bemessen ist, daß sie den Transistor (13) bei einer Generatorwicklungsspannung, kleiner als die Nennbetriebsspannung des Verstärkers (17) durchsteuert.

2. Bremsanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Serienschaltung aus Erregerwicklung (5) und Laststrecke des Transistors (13) über eine Gleichrichterschaltung (11) an die Generatorwicklung (7) angeschlossen ist und daß der Steueranschluß des Transistors (13) über einen Widerstand (47) unmittelbar an die Gleichrichterschaltung (11) angeschlossen ist.

3. Bremsanordnung nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, daß der Verstärker als Differenzverstärker (17) ausgebildet ist, dessen invertierender Eingang über einen Spannungsverstärker (21) an einen in Serie zur Erregerwicklung geschalteten Strommeßwiderstand (15) angeschlossen ist und dessen nichtinvertierenden Eingang an eine Referenzspannungsquelle (19) angeschlossen ist.

4. Bremsanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzspannungsquelle (19) als über eine Spannungsstabilisierungsschaltung (27) mit der Generatorwicklung (7) verbundenes Potentiometer (31) ausgebildet ist.

5. Bremsanordnung nach Anspruch 3 oder 4, dadurch gekennzeichnet, daß der invertierende Eingang des Differenzverstärkers (17) über eine einstellbare Spannungsteilerschaltung (23, 25) an den Spannungsverstärker (21) angeschlossen ist.

6. Bremsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß der Erregerstrom entsprechenden ersten Spannungssignals ein Strommeßwiderstand (15) in Serie geschaltet ist und daß zur Erzeugung eines dem Bremsdrehmoment des Rotors (3) entsprechenden Drehmoment-signals ein Differenzverstärker (37) vorgesehen ist, der die Differenz zwischen dem ersten Spannungs-

signal und einem von der Spannung der Generatorwicklung (7) abhängigen zweiten Spannungssignal bildet.

7. Bremsanordnung nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, daß der Generatorwicklung (7) eine Begrenzerschaltung (63) nachgeschaltet ist, die den Spannungspegel des zweiten Spannungssignals für Spannungen der Generatorwicklung (7), die größer als ein vorbestimmter Wert sind, auf einen vorgegebenen maximalen Spannungspegel begrenzt.

8. Bremsanordnung nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, daß an den Strommeßwiderstand (15) ein Differenzierglied (65) angekoppelt ist, welches über eine Koppelschaltung (67) bei einer Verringerung des Erregerstroms das erste Spannungssignal abhängig von der Änderungsgeschwindigkeit des Erregerstroms erhöht.

9. Bremsanordnung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß das Differenzierglied (65) über eine Dioden-Koppelschaltung (67) mit dem invertierenden Eingang des den Transistor (13) steuernden Differenzverstärkers (17) der Regelschaltung gekoppelt ist.

10. Bremsanordnung nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß das Differenzierglied als aktives Differenzierglied (65) ausgebildet ist.

11. Bremsanordnung nach einem der Ansprüche 6 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß dem Differenzverstärker (37) ein Spannungs-Frequenz-Wandler (41) nachgeschaltet ist.

12. Bremsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, daß zur Erzeugung eines der Drehzahl des Rotors (3) entsprechenden Signals eine Schmitt-Triggerstufe (43) über einen Einweggleichrichter (73) an die Generatorwicklung (7) angeschlossen ist.

13. Bremsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, daß sämtliche Verstärker (17, 21, 37, 39) über eine Spannungsstabilisierungsschaltung (29) an die Generatorwicklung (7) angeschlossen sind.

14. Bremsanordnung nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die Referenzspannungsquelle (19) an die Spannungsstabilisierungsschaltung (29) angeschlossen ist und eine weitere Spannungsstabilisierungsschaltung (27) umfaßt, deren konstante Ausgangsspannung kleiner ist als die von der erstgenannten Spannungsstabilisierungsschaltung (29) gelieferte Konstantspannung.

15. Bremsanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, daß für die Betriebsspannungsversorgung externer Verbraucher eine gesonderte Spannungsstabilisierungsschaltung (75) an die Generatorwicklung (7) angeschlossen ist.

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine elektromagnetische Bremsanordnung, insbesondere für ein Ergometer, gemäß dem Oberbegriff des Anspruchs 1.

Aus dem europäischen Patent 00 58 718 ist ein Ergometer bekannt, welches einen über ein Planetengetriebe angetriebenen elektrischen Generator umfaßt. Der Generator hat eine aus externen Stromquellen erregte Erregerwicklung und eine Dreiphasen-Generatorwicklung, an die externe Belastungswiderstände angeschlossen sind. Der Erregerstrom der Erregerwicklung ist zur

Einstellung des Bremsmoments regelbar. Die Notwendigkeit, externe Stromquellen für die Erregung des Generators zur Verfügung zu haben, begrenzt die Anwendungsmöglichkeiten.

Aus dem US-Patent 40 84 810 ist ein Ergometer bekannt, dessen Stator mit einem Drehfeld erregt wird. Das Drehfeld erzeugt in einem Wirbelstromläufer ein Bremsmoment selbst dann, wenn der Läufer mit vergleichsweise geringer Drehzahl angetrieben wird. Auch bei diesem bekannten Ergometer ist jedoch für den Betrieb eine externe Stromquelle erforderlich.

In der nicht vorveröffentlichten deutschen Patentanmeldung P 36 31 672.5 wird eine elektromagnetische Bremsanordnung für ein Ergometer vorgeschlagen, welche einen Stator und einen relativ zu dem Stator bewegbaren Rotor umfaßt. Der Stator und der Rotor bilden mehrlapige Weichenkreise, die sich zu einem magnetischen Durchflutungskreis schließen. Einer der Eisenkreise trägt eine Erregerwicklung, während der andere Eisenkreis eine Generatorwicklung und eine Kurzschlußwicklung aufweist. Die Erregerwicklung wird durch Strom aus der Generatorwicklung gespeist und induziert in der Kurzschlußwicklung Ströme, deren Magnetfeld die Relativdrehung von Stator und Rotor bremst. Das Bremsmoment wird durch eine Regelschaltung, die den aus der Generatorwicklung zugeführten Erregerstrom steuert, auf einem vorbestimmten Sollwert gehalten. Die Regelschaltung wird ebenfalls aus der Generatorwicklung mit Betriebsspannung versorgt. Eine elektromagnetische Bremsanordnung dieser Art bildet eine sehr kompakte Einheit und ist ohne externe Stromquellen und Belastungswiderstände funktionsfähig.

Bei der in der deutschen Patentanmeldung P 36 31 672.5 vorgeschlagenen Bremsanordnung wird die Generatorwicklung durch remanenzmagnetische Eigenschaften des der Erregerwicklung zugeordneten Weichenkreises anfänglich selbst erregt.

Es ist Aufgabe der Erfindung, eine Regelschaltung für eine elektromagnetische Bremsanordnung der in der deutschen Patentanmeldung P 36 31 672.5 vorgeschlagenen Art zu schaffen, die ohne externe Stromquellen für den Betrieb ihrer Komponenten auskommt und bereits bei sehr geringer Änderungsgeschwindigkeit der Durchflutung das Bremsmoment einzustellen vermag.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruchs 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Im Rahmen der Erfindung wird der in Serie zur Erregerwicklung geschaltete, den Erregerstrom steuernde Transistor nicht nur von einem Verstärker abhängig vom Sollwert-Istwert-Vergleich gesteuert, sondern ist auch über eine Koppelschaltung mit der Generatorwicklung verbunden. Die Koppelschaltung ist so bemessen, daß sie den Transistor in seinen vollständig aufgesteuerten, d.h. leitenden Zustand zu steuern sucht. Die aus der Generatorwicklung mit Betriebsspannung versorgte Regelschaltung übersteuert die Koppelschaltung, wenn die Spannung der Generatorwicklung für den Betrieb der Regelschaltung und insbesondere ihres Verstärkers ausreicht. Die Koppelschaltung steuert den Transistor bei einer Generatorwicklungsspannung durch, die kleiner ist als die Nennbetriebsspannung dieses Verstärkers. Unter Nennbetriebsspannung des Verstärkers soll hier und im folgenden eine Spannung verstanden werden, die eine Aussteuerung des Verstärkers in dem für die Regelschaltung vorgesehenen Regelbereich ermöglicht.

Die Koppelschaltung sorgt dafür, daß der Transistor bereits bei sehr kleiner, durch die remanenzbedingte Selbsterregung hervorgerufene Spannung der Generatorwicklung aufsteuert und unabhängig vom Betriebszustand der Regelschaltung ein Erregerstrom durch die Erregerwicklung fließt, der das remanenzmagnetisch erregte Magnetfeld verstärkt. Damit steigt die Generatorspannung schlagartig an und liefert ausreichend Betriebsspannung für den Betrieb der Regelschaltung, die damit das Bremsmoment auf einen vorbestimmten Sollwert einregelt.

Bei der Koppelschaltung handelt es sich in diesem Zusammenhang zweckmäßigerweise um einen Widerstand, der die Basis des Transistors mit dem kollektorseitigen Anschluß einer der Generatorwicklung nachgeschalteten Gleichrichterschaltung unmittelbar verbindet. Hierdurch wird erreicht, daß die Basis bereits bei sehr geringen Strömen auf Kollektorpotential liegt und der Transistor voll aufsteuert.

In einer bevorzugten Ausführungsform ist zur Erfassung des Erregerstrom-Istwerts in Serie zur Erregerwicklung ein Strommeßwiderstand geschaltet, an welchem eine dem Erregerstrom proportionale Spannung abfällt. Diese den Istwert bildende Spannung wird in einem Spannungsverstärker verstärkt, bevor sie mit der aus einer Referenzspannungsquelle zugeführten Sollwertspannung in dem als Differenzverstärker ausgebildeten, den Transistor steuernden Verstärker verglichen wird. Auf diese Weise kann nicht nur ein vergleichsweise kleiner Strommeßwiderstand benutzt werden, sondern es kann auch das Bezugspotential der Referenzspannungsquelle geeignet gewählt werden, beispielsweise so, daß die Sollwertspannung den Wert null hat, wenn die Regelschaltung innerhalb des Regelbereichs den Drehmomentwert null einstellt. Dies erleichtert die Steuerung der Regelschaltung durch externe Schaltungen, beispielsweise einem Mikroprozessor. Wird als Referenzspannungsquelle ein über eine Spannungsstabilisierungsschaltung mit der Generatorwicklung verbundenes Potentiometer benutzt, wird auf diese Weise erreicht, daß die Einstellung des Sollwerts vom Gesamt Widerstand des Potentiometers unabhängig ist und lediglich von der Stellung seines Schleifers abhängt.

Zweckmäßigerweise ist der das Strom-Istsignal verstärkende Spannungsverstärker über eine einstellbare Spannungsteilerschaltung an den den Transistor steuernden Differenzverstärker angeschlossen. Diese einfache Maßnahme erlaubt den einfachen Nullpunktgleich der Bremsanordnung.

Für eine Vielzahl Anwendungsfälle ist es wünschenswert, ein dem Istwert des Bremsdrehmoments entsprechendes Signal für Anzeigezwecke oder Aufzeichnungszwecke zur Verfügung zu haben. Um zusätzliche Drehmomentsensoren zu vermeiden, wird unter einem weiteren Aspekt der Erfindung der Erregerstrom der Erregerwicklung als Maß für das Drehmoment ausgewertet. Allerdings existiert nicht im gesamten Einstellbereich des Bremsmoments eine lineare Beziehung zwischen dem Erregerstrom und dem Bremsmoment. Bei geringen Erregerströmen ist das tatsächlich erreichte Bremsmoment erheblich kleiner. Um diesen Fehler auszugleichen, ist ein Differenzverstärker vorgesehen, der von einem dem Erregerstrom proportionalen ersten Spannungssignal ein zweites Spannungssignal subtrahiert, dessen Größe sich abhängig von dem Erregerstrom ändert. In dem zu kompensierenden Bereich des Erregerstrom-Bremsmoment-Zusammenhangs ist das zweite Spannungssignal klein für geringe Werte des Erreger-

stroms und nimmt mit wachsendem Erregerstrom zu. Zweckmäßigerweise ist eine Begrenzerschaltung vorgesehen, die das zweite Spannungssignal bei Übergang in den Bereich linearen Zusammenhangs zwischen Erregerstrom und Bremsmoment auf einem vorgegebenen maximalen Spannungspegel begrenzt. In einer bevorzugten Ausgestaltung wird das zweite Spannungssignal aus der Generatorspannung abgeleitet, da die Generatorspannung den gewünschten Änderungsverlauf hat.

Bedingt durch Remanenz der Eisenkreise ergibt sich jedoch eine gewisse Hysterese des abhängig vom Erregerstrom erzeugten Drehmomentsignals. Das Drehmomentsignal repräsentiert mit anderen Worten bei Zunahme des Erregerstroms einen anderen Drehmomentwert als bei Reduzierung des Erregerstroms. Um diese unerwünschte Eigenschaft zu kompensieren, kann ein Differenzierglied vorgesehen sein, welches abhängig von der Änderungsgeschwindigkeit des Erregerstroms den Istwert des Erregerstroms korrigiert. Eine Dioden-Koppelschaltung sorgt hierbei dafür, daß das erste Spannungssignal lediglich bei einer Verringerung des Erregerstroms erhöht wird.

Für manche Anwendungsfälle ist es wünschenswert, ein der Drehzahl proportionales Signal zur Verfügung zu haben. Da die Generatorwicklung Wechselstrom erzeugt, kann mittels einer Schmitt-Triggerstufe unmittelbar ein durch seine Impulsfolgerate die Drehzahl repräsentierendes Impulssignal erzeugt werden. Zweckmäßigerweise ist jedoch die Schmitt-Triggerstufe über einen Einweg-Gleichrichter an die Generatorwicklung angekoppelt, um die aufgrund der Mehrpoligkeit des Eisenkreises vergleichsweise hohe Impulsrate zu erniedrigen.

Im Betrieb liefert die Generatorwicklung mehr Energie als zur Steuerung der Bremsanordnung erforderlich ist. Durch eine zusätzliche Spannungsstabilisierungsschaltung kann eine stabilisierte Gleichspannung für externe Verbraucher, wie zum Beispiel Akkumulatoren oder Leuchtdioden-Anzeigefelder oder dergleichen, vorgesehen sein.

Im folgenden wird ein Ausführungsbeispiel der Erfindung anhand einer Zeichnung näher erläutert.

Die Zeichnung zeigt teilweise in Blockform ein Schaltbild einer elektromagnetischen Bremseinrichtung, insbesondere für ein Ergometer.

Die elektromagnetische Bremseinrichtung umfaßt einen bei 1 angeordneten mehrpoligen Stator sowie einen um eine Drehachse rotierend antreibbaren, mehrpoligen Rotor 3. Der Stator 1 ist vorzugsweise als Klauenpolrad ausgebildet und bildet einen Weicheisenkreis, der zumindest teilweise aus remanenzmagnetischem Stahl, beispielsweise Stahl C-35, besteht, wobei die Remanenzinduktion jedoch wesentlich kleiner sein soll als die Sättigungsinduktion, um die nachfolgend noch näher erläuterte Erregerstromregelung zu ermöglichen. Der Rotor besteht vorzugsweise aus einem geblechten Weicheisen-Jochring, der den Stator 1 eng, jedoch berührungsfrei, umschließt. Der Stator 1 trägt eine Erregerwicklung 5, die zwischen den in Umfangsrichtung einander abwechselnden Klauenpolen des Klauenpolrads ein in Umfangsrichtung wechselndes Feld erzeugt. In Nuten des Jochrings des Rotors 3 sind Spulen einer Generatorwicklung 7 als auch einer Kurzschlußwicklung 9 eingelegt. Bei der Relativdrehung von Rotor 3 und Stator 1 induziert das von der Erregerwicklung 5 erzeugte Magnetfeld in der Generatorwicklung 7 eine Wechselspannung, die in nachfolgend erläuterter Weise zur Erregung der Erregerwicklung 5 ausgenutzt wird. Darüberhinaus wird in der Kurzschlußwicklung 9 ein

Kurzschlußstrom induziert, dessen Magnetfeld ein Bremsmoment auf den Rotor 3 ausübt und von der Höhe des Erregerstroms der Erregerwicklung 5 abhängt, wie dies im einzelnen in der vorstehend erwähnten deutschen Patentanmeldung P 36 31 672.5 erläutert ist.

Die in der Generatorwicklung 7 erzeugte Wechselspannung wird in einem Vollweggleichrichter 11 gleichgerichtet. An den Gleichrichter 11 ist die Serienschaltung der Erregerwicklung 5, der Kollektor-Emitter-Strecke eines Transistors 13 und eines Strommeßwiderstands 15 angeschlossen. Der Kollektor 13 bildet das Stellglied eines Stromregelkreises und steuert den Erregerstrom der in seinem Kollektorkreis liegenden Erregerwicklung 5. Der Strommeßwiderstand 15, der einen sehr geringen Widerstandswert von beispielsweise 0,2 Ohm hat, um den Spannungsabfall gering zu halten, liegt im Emitterkreis des Transistors 13. An die Basis des Transistors 13 ist ein Differenzverstärker 17 angeschlossen, der an seinem nicht invertierenden Eingang eine einstellbare, den Sollwert des Erregerstroms festlegende Bezugsspannung aus einer allgemein mit 19 bezeichneten Referenzspannungsquelle aufnimmt. Dem invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 17 wird ein dem Istwert des Erregerstroms proportionale Spannung zugeführt. Die Istwertspannung wird von einem nicht invertierenden Spannungsverstärker 21 erzeugt, der die an dem Strommeßwiderstand 15 abfallende, dem Erregerstrom proportionale Spannung verstärkt. An den Ausgang des Verstärkers ist eine Spannungsteilerschaltung aus einem Festwiderstand 23 und einem Einstellwiderstand 25 angeschlossen, die die Ausgangsspannung des Spannungsverstärkers 21 einstellbar teilt und dem invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 17 zuführt. Die Stromregelschaltung hält den Erregerstrom der Erregerwicklung 5 und damit das von der Kurzschlußwicklung 9 erzeugte Bremsmoment auf einem an der Referenzspannungsquelle 19 eingestellten Wert konstant. Der Nullpunkt des Bremsmoments kann an dem Einstellwiderstand 25 abgeglichen werden.

Die Referenzspannungsquelle 19 umfaßt eine Spannungsstabilisierungsschaltung 27, die über eine weitere Spannungsstabilisierungsschaltung 29 an die Gleichspannungsanschlüsse des Gleichrichters 11 angeschlossen ist, sowie ein Einstellpotentiometer 31, dessen Schleifer 33 mit dem nichtinvertierenden Eingang des Differenzverstärkers 17 verbunden ist. Da der Differenzverstärker 17 Spannungspotentiale vergleicht, deren Nullpunkt abgeglichen werden kann, ist dem Drehmomentwert null das Ausgangspotential null der Referenzspannungsquelle 19 zugeordnet. Dem maximalen Bremsmoment ist die maximale Ausgangsspannung der Spannungsstabilisierungsschaltung 27 zugeordnet. Die Referenzspannungsquelle 19 ist damit vom Gesamtwiderstandswert des Potentiometers 31 unabhängig. Dies hat den Vorteil, daß der Widerstand von Zuleitungen oder dergleichen unberücksichtigt bleiben kann, und es hat ferner den Vorteil, daß dem nicht invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 17 aus anderen, beispielsweise externen Steuerquellen, wie zum Beispiel Mikroprozessoren und dergleichen Sollwertspannungen zugeführt werden können. Die Spannungsstabilisierungsschaltung 27 liefert einen Konstantspannungspegel, der niedriger ist als der Konstantspannungspegel der Spannungsstabilisierungsschaltung 29 und dem üblichen Ausgangspegel derartiger externer Steuerschaltungen angepaßt ist.

Die Spannungsstabilisierungsschaltung 29 liefert an ihrem Ausgang 35 die Betriebsspannung für den Diffe-

renzverstärker 17, den Spannungsverstärker 21 sowie sämtlicher weiterer nachfolgend erläuterter aktiver Komponenten der Bremsanordnung, insbesondere eines Differenzverstärkers 37, eines weiteren Differenzverstärkers 39, eines Spannung-Frequenz-Wandlers 41 sowie eines Schmitt-Triggers 43. Diese Komponenten haben bei 45 angedeutete Betriebsspannungsanschlüsse, die mit dem Ausgang 35 der Spannungsstabilisierungsschaltung 29 verbunden sind.

Im Betrieb reicht die von der Generatorwicklung 7 erzeugte Spannung für die Versorgung der Komponenten, insbesondere der Regelschaltung aus, um ordnungsgemäßes Arbeiten der Regelschaltung ohne zusätzliche externe Spannungsquellen sicherzustellen. Problematisch ist jedoch das Einschwingen der Schaltung ausgehend vom stillstehenden Rotor 3. Die Leerlaufspannung der Generatorwicklung 7 ist sehr gering, da die Remanenzinduktion des Stators vergleichsweise gering ist, um möglichst weit außerhalb der Sättigung des Weich-eisenkerns des Stators 1 zu bleiben.

Um auch bereits bei sehr geringer Durchflutung in dem durch die Eisenkreise von Stator 1 und Rotor 3 gebildeten Durchflutungskreis eine ausreichend hohe Betriebsspannung zu erreichen, ist die Basis des Transistors 13 über einen Widerstand 47 unmittelbar an den kollektorseitigen Anschluß der Gleichrichterschaltung 11 angeschlossen. Der Widerstand 47 ist so bemessen, daß der Transistor 13 vollständig aufgesteuert wird, wenn die Ausgangs-Gleichspannung der Gleichrichterschaltung 11 die Basis-Emitter-Sperrspannung, die üblicherweise in der Größenordnung von etwa 0,7 V liegt, überschreitet. Der Transistor 13 leitet damit unabhängig davon, ob der Regelschaltung ausreichend Betriebs-spannung für deren Funktionsfähigkeit zugeführt wird. Die Ausgangsspannung der Generatorwicklung 7 erzeugt damit einen Erregerstrom in der Erregerwicklung 5, der seinerseits zu einer Erhöhung der Generatorspannung führt. Es kommt zu einer schlagartigen Erhöhung der Generatorspannung über den für den Betrieb der Regelschaltung erforderlichen Wert hinaus, wobei nach Erreichen der Betriebsspannung der Regelschaltung der Erregerstrom der Erregerwicklung 5 auf dem durch die Referenzspannungsquelle 19 bestimmten, das Bremsdrehmoment festlegenden Wert konstant gehalten wird. Im Regelbetrieb wird der durch den Widerstand 47 gelieferte, den Transistor 13 aufsteuernde Basisstrom durch den Ausgangsstrom des Differenzverstärkers 17 kompensiert.

Die Bremsanordnung umfaßt eine Auswerteschaltung, die ein dem Bremsdrehmoment proportionales Signal liefert. Um auf einen zusätzlichen Drehmoment-sensor verzichten zu können, wird der Istwert des Erregerstroms der Erregerwicklung 5 ausgewertet, da zumindest in einem Teilbereich ein linearer Zusammenhang zwischen dem Erregerstrom und dem Bremsdrehmoment besteht. Allerdings ist in einem unteren Strombereich das tatsächliche Bremsdrehmoment erheblich kleiner als theoretisch erwartet. Um diese Abweichung zu kompensieren, wird im Bereich kleiner Ströme von dem den Erregerstrom-Istwert und damit das Bremsdrehmoment repräsentierenden Signal in dem Differenzverstärker 37 ein Signal subtrahiert, dessen Größe mit wachsendem Erregerstrom zunächst zunimmt, bis es nach Erreichen des Strombereichs mit linearem Zusammenhang zwischen Erregerstrom und Bremsdrehmoment konstant bleibt.

Der nichtinvertierende Eingang des Differenzverstärkers 37 ist an eine aus einem Festwiderstand 49 und

einem Einstellwiderstand 51 bestehende Spannungsteilerschaltung angeschlossen, die die Ausgangsspannung des Spannungsverstärkers 21 mit einstellbarem Teilungsfaktor teilt. Der Differenzverstärker 37 ist durch einen Eingangswiderstand 53 an seinem invertierenden Eingang und einen gleich großen Rückkopplungswiderstand 55 als Verstärker mit einer Spannungsverstärkung gleich 1 ausgebildet und über den Eingangswiderstand 53 an eine aus Widerständen 57, 59, 61 gebildete Spannungsteilerschaltung angeschlossen. Die Serienschaltung der Widerstände 57, 59, 61 ist an die Gleichspannungsseite der Gleichrichterschaltung 11 angeschlossen und liefert an den invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 37 eine von der Ausgangsspannung der Generatorwicklung 7 abhängige Spannung, die mit wachsender Erregung durch wachsenden Erregerstrom der Erregerwicklung 5 zunimmt. Der Serienschaltung der Widerstände 59, 61, die für sich wiederum eine Spannungsteilerschaltung bilden, ist eine in Sperrichtung gepolte Zener-Diode 63 parallel geschaltet. Die Zener-Spannung der Zener-Diode 63 ist dem Beginn des Linearbereichs angepaßt und begrenzt die dem invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 37 zugeführte Spannung. Der an den Ausgang des Differenzverstärkers 37 angeschlossene Spannungs-Frequenz-Wandler 41 liefert ein Impulssignal, dessen Impulsrate gleich der Differenz-Ausgangsspannung des Differenzverstärkers 37 ist und damit ein in digitalen Auswerteschaltungen unmittelbar verwendbares Maß für den Istwert des Bremsdrehmoments ist.

Die Remanenz des Stators 1 führt zu einer gewissen Hysterese des Drehmomentsignals, die sich darin äußert, daß, bezogen auf denselben Strom-Istwert, das Drehmomentsignal bei einer Verringerung des Erregerstroms lediglich einen kleineren Wert erreicht, als bei einer Erhöhung des Erregerstroms. Um diesen Effekt zu kompensieren, ist an den Spannungsverstärker 21 ein Differenzierglied 65 angeschlossen, das über eine Diode 67 der dem Erregerstrom proportionalen Spannung am invertierenden Eingang des Differenzverstärkers 17 ein Signal überlagert, welches bei einer Verringerung des Erregerstroms die von dem Spannungsverstärker 21 gelieferte Istwertspannung momentan überhöht. Die Überhöhung der Istwertspannung bewirkt eine momentane Verringerung des tatsächlich in der Erregerwicklung 5 fließenden Erregerstroms, so daß sichergestellt ist, daß der Erregerstrom stets aus derselben Änderungsrichtung, hier ansteigend, den Sollwert erreicht. Der Differenzverstärker 47 und dementsprechend der Spannungs-Frequenz-Wandler 41 liefert damit stets Bremsdrehmomentsignale, die das Bremsdrehmoment bei ansteigendem Erregerstrom repräsentieren. Das Differenzierglied 65 ist als aktives Differenzierglied ausgebildet und umfaßt den Differenzverstärker 39, welcher als invertierender Verstärker genutzt wird. Der invertierende Eingang des Verstärkers 39 ist über einen Kondensator 69 an den Ausgang des Spannungsverstärkers 21 angeschlossen und über einen Rückkopplungswiderstand 71 mit dem Ausgang des Verstärkers 39 verbunden.

Die Schaltung liefert am Ausgang des Schmitt-Triggers 43 ein Impulssignal, dessen Impulsrate der Drehzahl des Rotors 3 proportional ist. Die Schmitt-Triggerstufe 43 ist hierzu über einen Einweggleichrichter, hier eine einfache Diode 73, unmittelbar an die eine Wechselspannung liefernde Generatorwicklung 7 angeschlossen. Durch Verwendung eines Einweggleichrichters kann die aufgrund der Mehrpoligkeit des Rotors 3 ver-

gleichsweise hohe Frequenz erniedrigt werden.

Schließlich ist an die Gleichspannungsseite der Gleichrichterschaltung 11 eine zusätzliche Spannungsstabilisierungsschaltung 75 angeschlossen, aus der zusätzliche, beispielsweise externe Verbraucher, wie zum Beispiel Hilfsakkumulatoren externer Steuerschaltungen oder externe Anzeigeeinrichtungen, wie zum Beispiel Leuchtdiodenfelder und dergleichen, gespeist werden können.

10

15

20

25

30

35

40

45

50

55

60

65

3710842

